

# マイクロマシニングによる能動カテーテルに関する研究

著者	林 根培
号	1770
発行年	1995
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7043">http://hdl.handle.net/10097/7043</a>

氏 名	Lim 林	Geun 根	Bae 培
授 与 学 位	博 士 （ 工 学 ）		
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 3 月 26 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）精密工学専攻		
学 位 論 文 題 目	マイクロマシニングによる能動力カテーテルに関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 江 刺 正 喜		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 江 刺 正 喜	東北大学教授 小 柳 光 正	
	東北大学教授 内 山 勝		

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 言

人間の病気を治療する方法の一つとして、注射器または口を通して薬品を体中に注入する方法がある。薬品を利用した治療方法は患部を直すために薬品が体全体に拡がらなければならない。これは効率という面で非常に悪く、副作用も無視できない。“Open surgery”または“侵襲治療”と呼ばれている方法では患部を直接治療することは可能であるが、体の内部に患部がある場合組織を切開するような余計な被害を人間に与える。このような侵襲的な治療法の改善案としてカテーテルを利用する方法がある。現在のカテーテルはその診断，治療目的によって色々な種類に分かれているが，その中で蛇のように自ら曲がりながら，目的のところまで入って行くカテーテル，いわば能動カテーテルの開発が，いくつか行われている。しかし，それぞれの関節が色々な方向に独立に動くような研究結果は今まで報告されていない。患部に正確に近接することが可能な能力，すなわち操縦可能な“超選択的 Catheterization”を行うには蛇のような動きを持つことができる能動力カテーテルが要求される。しかし，このように小さくて屈曲能力をもつ能動カテーテルを作るためには，小さなシステムを精密な構造で作れるマイクロマシニング技術が必要である。開発した能動カテーテルはシリコン・マイクロマシニング技術を利用して試作され，将来的には IC チップを内蔵することができるよう設計，製作されており，全体的には小型多関節ロボットの構造となっている。

### 第 2 章 既存のカテーテルの限界と能動カテーテル必要性

本章では，血管の形状によって挿入が不可能であり熟練性に依存する等の問題点が多くある既存カテーテル限界について述べる。また，このような問題点を解決するために必要な能動カテーテルについてのべる。カテーテルの目的は簡単に言うと，患部に経皮的な方法，つまり血管を通して入ることである。その後はカテーテルに形成されているチャンネルを通して必要なものを入れる。このようにカテーテルが体内に入る時に安全な案内者になるためには，カテーテルそれ自体が蛇のように動く必要があり，さらに目的とした場所で患部を観察，治療するためにも動く必要がある。人体器官は可変的構造をもつので硬い構造を持つ機械システムでは近接することが難しい。多関節構造の能動カテーテルがあれば細かい動きを精密に制御するシステムによって軟らかく動き，体の中の正確な場所により正確に行き着くことができる。小型の能動カテーテルを開発するために“シリコンマイクロマシニング技術”を利用すれば今まで開発されたマイクロセンサや IC 回路等を装備した高機能の能動カテーテルを作ることができる。高機能な能動カテーテルができれば自ら血管の形に合わせながら入ることができ低侵襲治療が可能である。

### 第3章 能動カテーテル製作におけるマイクロマシニング技術

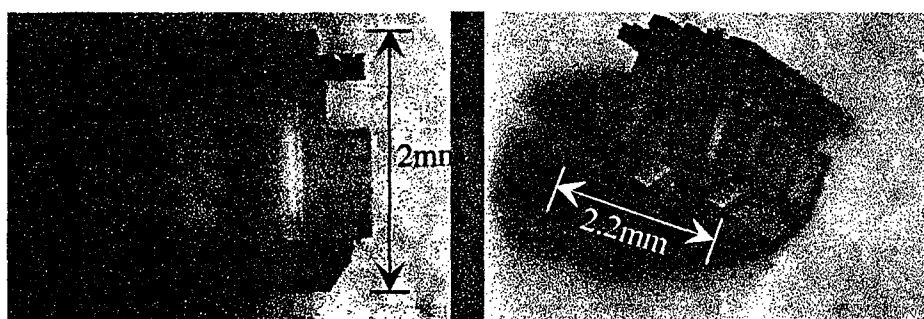
本章では能動カテーテルを製作する時に利用したマイクロマシニング技術について述べる。センサや電子回路の以外にアクチュエータと呼ばれる運動機構まで持った、小さくても高度な働きをする機械システムとしての能動カテーテルを製作するためには、エッチング技術、陽極接合、メタリゼーションなどの技術が複合的に必要であることを説明して、その技術について述べる。

### 第4章 能動カテーテルの提案および試作

本章では、能動カテーテルを製作するために必要なアクチュエータの選択、分布されているアクチュエータを固定する役割をするリンクの製作技術などについて考察した。アクチュエータとしては、発生力／重量比、発生力／体積比が大きい、変位が大きい通電加熱により駆動可能な点で、従来のアクチュエータにない優秀な特性を持つ形状記憶合金を使用した。能動カテーテルに適用できる形状記憶合金アクチュエータの形状について検討する。また、色々なリンクの構造と能動カテーテル構造を提案する。

### 第5章 マイクロマシニングによる能動カテーテル

本章ではバイアスばねが入っていない能動カテーテルと、バイアスばねが入っている能動カテーテルの2種類の能動カテーテルの製作技術とその特性について述べる。リンクの製作には、シリコン異方性エッチング、ガラスグラインディング、陽極接合、3次元アルミ配線技術を主に利用した。図1は製作したリンクの写真を示してある。



(a) 断面写真

(b) 3次元写真

図1 リンクの写真

リンクとチャンネルになる内側のチューブ、外側のチューブ等の要素の組立プロセスは、電気的な接続や分離を行うためレーザを利用した。製作した能動カテーテルは各ジョイントが独立に動き、蛇のような動作可能であった。図2と図3は製作した2種類の能動カテーテルの動きを示している。バイアスばねがない能動カテーテルの場合、25mA程度の電流値の所から曲がり始め、約60mAの電流値のとき約30°の曲がり角度(1-Joint)で飽和した。曲がり力の場合、25mAで力が出始めて60mAになって約2.4gfの力で飽和した。60mAの電流をかけた場合、曲がる応答時間は約0.3秒、戻る時間は約1秒であった。

バイアスばねを入れた能動カテーテルは動作が安定でチャンネルの面積を多くとることができる長所がある。曲がり角度は20mAから曲がり始めて、55mAの電流値で飽和まで直線的に曲がり角度が増加した。最大曲がり角度(1-Joint)は約48°であった。曲がり力は20mAの電流を流した時から力が出始めて、約55mAまでは大体直線的に曲がり力が増加して60mAで飽和した。最大力は約2.2gfであった。応答速度はバイアスばねを使用していない能動カテーテルと大体同じ程度であった。60mAの電流をかけた場合に曲がるまでの時間は約0.4秒で、戻る時間は約1秒であった。集積化回路(IC)で能動カテーテルを駆動する場合には、関節加熱方法が有効である。将来ICを入れた能動カテーテルを作るための基礎研究として、間接加熱能動カテーテルを製作した。間接加熱方法でのSMAアクチュエータにはパリレン、ニッケルが薄くコーティングされている。実験の結果、厚さが薄いニッケル薄膜は抵抗が高くなるため、SMAアクチュエータ自体は抵抗値が高いアクチュエータとして扱うことが可能であることを確認した。

## 第6章 将来の能動カテーテル

ICが組み込めることを前提としている能動カテーテルは、回路製作ラインで能動カテーテルは回路製作ラインで能動カテーテルのリンクと同時に作ることが可能となる。それ以外でもシリコンマイクロセンサ、レーザ加工によるチューブなどの製作技術と結びつけることも可能であり、個別に開発されている技術を集めて総合システムとして活かすことができる。本章では総合システムとして能動カテーテルの製作と関連のある研究、共通2線式システム、ナビゲーション能力を持たせるための研究、マイクロスケール組立に関する研究を紹介した。

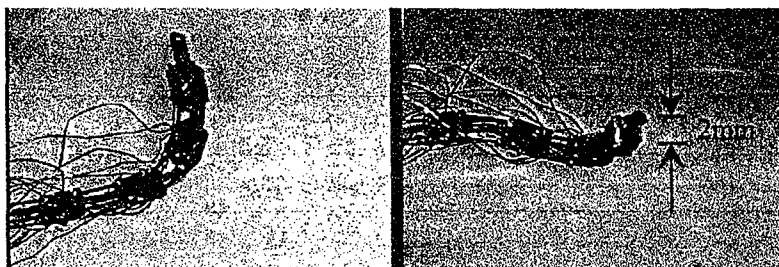


図2 バイアスばねが入っていない能動カテーテルの動き

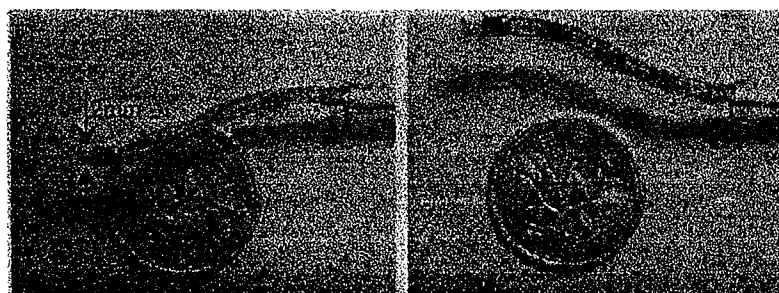


図3 バイアスばねが入っている能動カテーテルの動き

## 第7章 結 論

本論文では、科学技術を利用して生体の診断および治療の目的で使える、新たな能動カテーテルシステムの製作について述べた。低侵襲治療を目的として開発した能動カテーテルは、自ら蛇のように運動して血管に入ることができるので、従来のカテーテルでは近傍できなかった場所まで入ることができる。本研究で製作した能動カテーテルは今まで他の研究では行われていない新しい概念や製作技術を利用した。センサ、集積回路、マイクロスケール・ツールを持った能動カテーテルは医療分野だけではなく、人間の手がとどかない小さな場所あるいは複雑な場所などに入ることができる、知能化したマイクロロボットとしての役割も果たすことが期待される。

## 審 査 結 果 の 要 旨

体内に小形の器具を挿入することで組織の切開を最小限にして診断や治療を行う、低侵襲治療が内視鏡やカテーテルなどの形で行われている。しかし血管内などに挿入するカテーテルでは、自ら蛇のように曲がり目的の部位に到達できるいわゆる能動カテーテルは実現できていない。本論文は、多関節の能動カテーテルをシリコンマイクロマシニング技術で具体的に実現し、その成果をまとめたもので、全7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、能動カテーテルの研究の意義を明らかにしている。

第3章では、能動カテーテルの製作に用いたシリコンのエッチング、ガラスとシリコンの陽極接合、ガラスに孔を開ける電解放電加工などの要素技術について述べた。

第4章では、蛇の骨にあたるリンクおよび筋肉にあたるアクチュエータに関し、最終的な設計に至る試行錯誤の基礎実験について述べている。最終的にリンクはシリコンとガラスの陽極接合により製作し、またアクチュエータは形状記憶合金（SMA）のコイルに通電加熱して収縮させる方式とした。ガイドワイヤや像影剤などを通す内側のチューブを持ち、外径が2.8mmの能動カテーテルを製作した。

第5章に本研究で開発した能動カテーテルの設計・製作・評価の結果が記されている。リンクはマイクロマシニングでシリコン基板に多数一括で製作しており、これにより組立を最小限し複雑なシステムを比較的容易に実現できるようにしている。SMAが収縮した後の戻りのためにばねを入れることで、1段で45°以上曲がるようにすることができた。またSMAコイルに直接電流を流して加熱する方式に代わり、パリレンで絶縁したコイルにニッケルの薄膜ヒータを形成した間接加熱方式のSMAアクチュエータを開発したが、これは低電流で駆動できるため集積回路を内蔵する方式に適している。

第6章では、本研究の能動カテーテルの研究成果から考えられる今後の改良点、特にリード線の数をも最小限にするため各リンクに内蔵する通信制御用集積回路、カテーテルの接触や曲がりなどを検出する内蔵センサ、レーザCVDを用いた微小組立などについて述べている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、今後の低侵襲医療に必要な能動カテーテルについて研究を行い、シリコンマイクロマシニングで製作したリンクおよびSMAコイルによるアクチュエータを用いて、多関節型能動カテーテルを開発したものである。これは複雑なシステムを分解しないで検査や修理ができる保守作業用の道具などとしても有用であり、また運動要素が全体に分布し優しく柔らかく動く従来にない新しい機械としての意味もあり、微小機械学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。